

„MadLabCrab“ - Die LEGO Krabbe

Till Ehrhardt, Elektrotechnik und Informationstechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Zusammenfassung—Im Rahmen des Projektseminares Elektrotechnik/Informationstechnik (LEGO Mindstorms) 2025 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde mit Hilfe der zur Verfügung gestellten LEGO-Baukästen ein Roboter konstruiert, welcher in der Lage ist, sich selbständig zu positionieren und die Mitte eines dynamischen Umfeldes zu finden.

Eine in MATLAB programmierte Software ermöglicht es der MadLabCrab, ein krabbenähnlicher Roboter, sich autonom fortzubewegen. Hierzu erfassen zwei Ultraschallsensoren die Umgebung. Die erfassten Daten werden von einem EV3 Steuerblock an einen PC übertragen, der eine zentrale Position berechnet und die Bewegungsrichtung bestimmt. Diese wird in Form von Steuerbefehlen zurückgesendet.

Die Fortbewegung wird durch acht Füße ermöglicht, die an vier verbundenen Beinonstruktionen namens Klann-Mechanismus befestigt und von zwei Kurbelwellen sowie Motoren angetrieben werden. Auf die Vielfältigkeit dieser Art von Mechanismen, zu denen auch Joe Klanns Erfindung zählt, wurde durch ein kürzlich veröffentlichtes Video des YouTube-Kanals Veritasium aufmerksam gemacht.

Schlagwörter—Krabbe, Klann-Mechanismus, LEGO, MINDSTORMS, Roboter, OVGU

I. EINLEITUNG

ZU oft wird gesagt, man solle das Rad nicht neu erfinden. Doch genau dieser Gedanke spiegelt sich in der Konzeption und letztendlichen Entwicklung von MadLabCrab (MLC) wider. Gerade bei dieser Art von Projekten ist es wichtig, die gegebene Freiheit zu nutzen und sich von konventionellen Denkweisen zu lösen. Anstatt auf bereits etablierte Lösungen wie den Reifen zurückzugreifen, wurde für MadLabCrab die sogenannte Klann-Mechanismus zur Fortbewegung ausgewählt. Diese ermöglicht es dem Roboter unebenes Terrain zu passieren, wo Räder fehlschlagen würden.

Zudem können Gummireifen leicht durchstochen werden, was bei der Klann-Mechanismus mit ihren Füßen nicht möglich ist. Darüber hinaus kann eine Konstruktion aus einfachen Stangen mit vergleichsweise geringem Aufwand vor Ort repariert werden, während bei radbasierten Fahrzeugen oft das gesamte Gerät stillgelegt und aufgebockt werden muss. Außerdem kann eine Konstruktion aus mehreren Beinen die Last pro Bodenkontaktfäche effizienter reduzieren, insbesondere wenn sie erweiterbar ist. All diese Aspekte machen die MLC zu einer geeigneten Lösung für den Einsatz in z.B. Trümmergebieten, bei der Personenrettung und in abgelegenen Gebieten mit begrenztem Service. Das Konzept „Langsam und stetig gewinnt das Rennen“ wird durch die MadLabCrab veranschaulicht und dient als Idee für diese Art von Fortbewegungsmittel.

Um die Autonomie der Krabbe zu garantieren, wurden zwei Ultraschallsensoren (dargestellt in Abbildung 2) an der höchsten Stelle montiert. Sie messen in entgegengesetzte Richtungen,

sodass MLC erkennt, in welche Richtung es sich bewegen muss. Der ideale zeitliche Ablauf einer solchen räumlichen Bewegung wird in Abbildung 1 dargestellt.

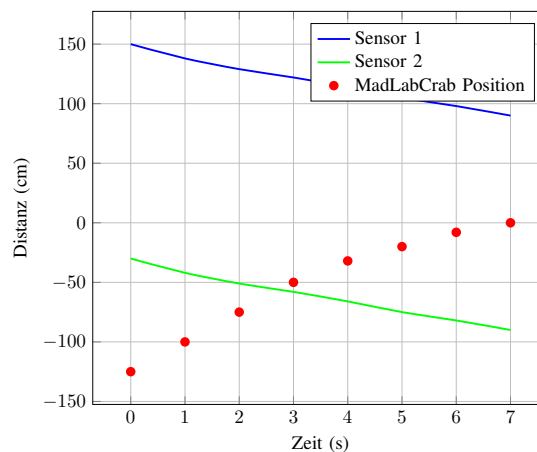


Abbildung 1. Räumliche Bewegung von MadLabCrab



Abbildung 2. NXT Ultraschallsensor [1]

II. VORBETRACHTUNGEN

A. Mechanismus

Joe Klann, der Erfinder des Klann-Mechanismus, entwickelte diesen Mechanismus, um die Effizienz und Vielseitigkeit von Robotern zu steigern. Ein Video des YouTube-Kanals Veritasium, produziert von Derek Muller [2], machte erst vor kurzem auf diese Art von innovativen Mechanismen aufmerksam. Inspiriert von diesem und ähnlichen Projekten im Internet [3]–[5], gelang es der Gruppe 4, den Klann-Mechanismus in eine LEGO-Konstruktion umzuwandeln und erfolgreich für das MadLabCrab-Projekt zu verwenden. In der aktuellen Konstruktion werden vier Beine pro Seite verwendet, anstatt der ursprünglich von dem Klann-Mechanismus vorgesehenen sechs. Diese Veränderung wurde auf Grund der optimierten Stabilität und begrenzten Ressourcen vorgenommen.

B. Anforderungen

Die Anforderungen an MadLabCrab waren, dass es sich selbständig zwischen zwei dynamisch anpassenden Wänden



Abbildung 3. Ultraschallsensoren & Not-Aus-Schalter montiert auf EV3

positioniert. Dazu kann es sich entlang einer Achse bewegen und stoppen, wenn die Sensoren beide die gleichen Werte ausgeben. Dies ist auch der Fall, sollte sich MLC in einer zu engen Lücke oder auf einer weiten Fläche, auf der es in beide Richtungen keine Wände erkennt, befinden. In beiden Fällen wurde festgelegt, dass MadLabCrab zum stehen kommt.

C. Komponenten

Zur Distanzerkennung wurden die LEGO-Ultraschallsensoren (siehe Abbildung 2) aus der NXT-Generation verwendet. Es wurde sich für diese Form der Messung entschieden, da die Sensoren performant sind und nur durch wenige äußere Einflüsse beeinträchtigt werden können. Damit eine sichere Bedienung der Krabbe garantiert werden kann, wurden außerdem zwei Knöpfe (einer zu sehen in Abbildung 3) eingebaut. Diese dienen einerseits dazu MLC freizuschalten, sodass der Programm-Timer erst ab diesem Moment gestartet wird, und andererseits auch zur frühzeitigen Beendigung des Programms. Der Not-Aus-Schalter wurde implementiert, um eine Möglichkeit zu bieten, die Bewegungen zu stoppen, wenn diese als gefährlich für den Roboter oder seine Umgebung eingeschätzt wurden.

Die Laufbewegung wurde durch zwei in der Mitte von MadLabCrab platzierte Motoren gesteuert. Zudem herrschte Symmetrie zwischen der linken und rechten Hälfte, sodass die Aufbauten gespiegelt waren. Der EV3 diente als Schnittstelle zwischen den Motoren (siehe Abbildung 10), Sensoren und dem Computer, welcher die Berechnungen anstellte.

III. ENTWICKLUNGSPROZESS

A. Erster Prototyp

Nachdem Gruppe 4 sich mit MATLAB vertraut gemacht hatte und sich auf ein Roboter-Konzept geeinigt hatte, wurden die ersten Testaufbauten begonnen. Um ein Gefühl für die Größenordnung zu bekommen, wurde zunächst eine Grundkonstruktion bestehend aus zwei Motoren und Kurbelwellen, jedoch ohne Füße und Sensoren, errichtet (siehe Abbildung 4, 5). Auf diese Weise konnten erste Bewegungstests durchgeführt werden.

Schnell wurde klar, dass Reibung ein Problem darstellt. Für den Grip der acht Füße wurden Gummistollen eingefügt (siehe Abbildung 6). Diese stellten an den vier Beinsegmenten den Kontakt zum Untergrund her und gewährleisteten somit eine robuste Verbindung.

Klann-Mechanismus Test: Nach vielen Versuchen und Anpassungen fand sich ein Verhältnis von LEGO-Teilen, Stangenlängen und passenden Komponenten, sodass schließlich eine Konstruktion gefunden wurde. Die Beine werden an zwei Punkten mit MLC verbunden: entlang der tragenden Stangen im oberen Bereich und an der kontinuierlich drehenden Kurbelwelle. Durch die Verlinkung der Stangen im Bein bewegt sich der Fuß auf einer vordefinierten Bahn und garantiert so die maximale Kraftübertragung zum Boden.



Abbildung 4. Motor, Kurbelwelle und Zahnräder Version 1

B. Zweiter Prototyp

Der erste MadLabCrab-Prototyp lieferte wertvolle Erkenntnisse, die für die weitere Entwicklung entscheidend waren. Es wurde klar, dass die Stabilität des Roboters, insbesondere im Hinblick auf Größe und Gewichtsverteilung, erhöht werden musste. Zudem offenbarten sich Schwachstellen bei der Kraftübertragung von den Motoren auf die Klann-Mechanik, da die diese zeitweise durchdrehten. Das maximale Drehmoment der LEGO NXT Motoren beträgt 50 N cm. Diese Erfahrungen ermöglichten es Gruppe 4, gezielt Verbesserungen vorzunehmen.

Die Anzahl der Träger wurde auf vier durchgehenden erhöht, und es wurden möglichst lange Segmente verwendet (siehe Abbildung 10). Dies führte zu einer erhöhten Stabilität der gesamten Konstruktion, was insbesondere bei der Bewegung von MadLabCrab hilfreich war.



Abbildung 5. LEGO-Kurbelwelle



Abbildung 6. Fußkonstruktion

Die Übersetzungsverhältnisse der Zahnräder wurden von 3:10 auf eine Konstruktion mit den Verhältnissen 3:10 und 1:5 geändert (siehe Abbildung 7). Dies führte zwar zu einem Verlust an Geschwindigkeit, jedoch gewann MLC dadurch erheblich an Kraft. Die zusammengestellte Konstruktion aus Motor, Zahnrädern und Kurbelwelle ist in Abbildung 11 dargestellt.

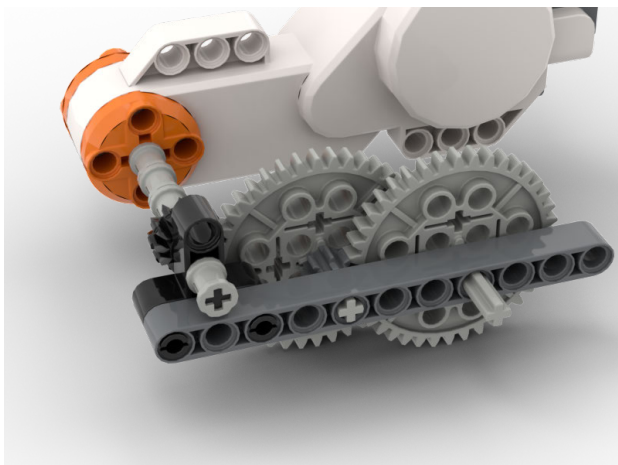


Abbildung 7. Motor und Zahnräder Version 2

C. Finaler Aufbau und Test

Nach zwei Wochen war die Entwicklung nun zur finalen Revision fortgeschritten. MadLabCrab konnte sich selbstständig bewegen und positionieren. Die vorherigen Entwicklungsschritte hatten den krabbenähnlichen Roboter sichtlich verbessert und optimiert (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8. Finale Version von MadLabCrab, aufgebockt

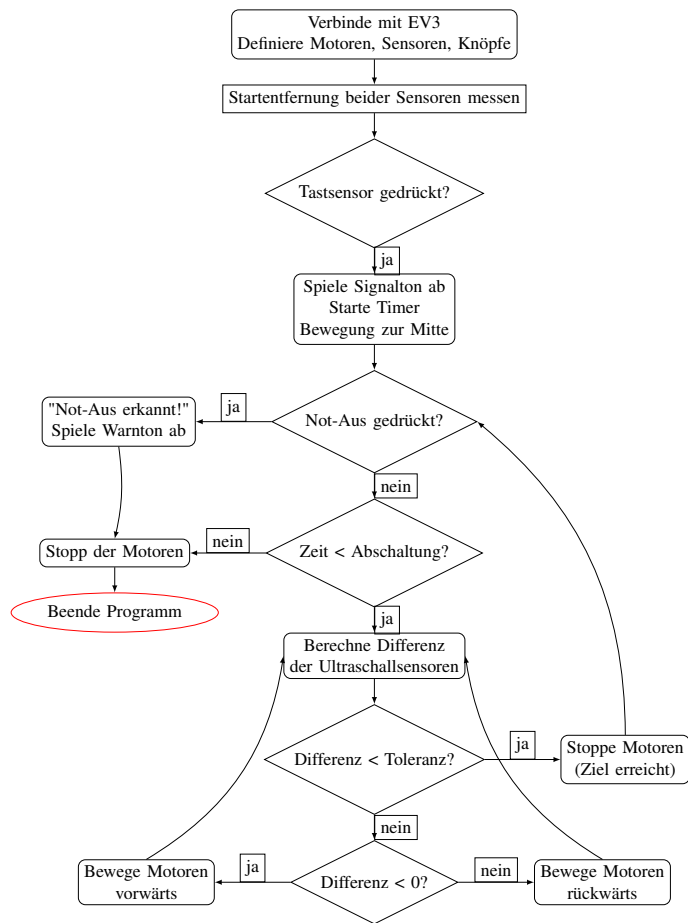
D. Algorithmus

Der Vorgang, wie MadLabCrab entscheidet, in welche Richtung es sich bewegen soll, ist im Programmablaufplan in Abbildung 9 dargestellt. Zunächst wird eine Verbindung zum EV3 hergestellt und die Motoren, Ultraschallsensoren sowie Knöpfe werden definiert. Nun wird gewartet, bis der Start-Tastsensor gedrückt wird.

Sobald der Tastsensor gedrückt wird, ertönt ein Signalton und der Timer beginnt. MadLabCrab startet die Bewegung zur Mitte. Derweil wird kontinuierlich die Differenz der Sensoren Werte errechnet. Liegt diese innerhalb der Toleranz, stoppen die Motoren, da das Ziel erreicht ist. Wenn MLC zu nah an Wand A ist, bewegen sich die Motoren vorwärts, bei zu großer Nähe zu Wand B drehen die Motoren rückwärts. Wird der Not-Aus-Schalter gedrückt, stoppt der Roboter sofort und gibt ein Warnsignal ab. Andernfalls passt sich MadLabCrab kontinuierlich an die Umgebung an bis zum Ablauf der Zeit.

IV. ERGEBNISDISKUSSION

Mit dem Abschluss der zweiwöchigen Entwicklung ist MadLabCrab nun erfolgreich in der Lage, sich autonom zu positionieren. Der Roboter kann seine Umgebung wahrnehmen und basierend auf diesen Daten handeln. Falls es zu einer Fehlfunktion kommen sollte kann MLC jedoch immer durch den Not-Aus-Schalter zum Stillstand gebracht werden.



Figur 9. Programmablaufplan von MLC

Probleme traten insbesondere bei der Tragekonstruktion auf, da LEGO-Teile, welche aus ABS hergestellt werden, und die Toleranzen zwischen den Steckverbindungen zu Instabilität führten. Dadurch ergab sich unausweichlich eine konkave Form entlang der Stangen.

Auch bei der Verwendung der Ultraschallsensoren zeigten sich Schwachstellen. Diese besitzen einen breiten Messwinkel, wodurch es zu fehlerhaften Werten kommen kann, die auf unerwünschten Hindernissen basieren. Darüber hinaus ist die Reichweite auf 255 cm begrenzt. Bei flachen Winkeln kann es zudem passieren, dass die Schallwellen von einer Oberfläche abgelenkt werden, wodurch diese nicht korrekt zum Sender zurückkehren.

Typischerweise wird der EV3-Baustein auch in die Konstruktion integriert, wobei die Verbindungskabel entsprechend kurz gehalten sind. Die Größe der Motoren und der Klann-Mechanismus führten jedoch dazu, dass die Krabbe relativ breit wurde und die Beine mehrere Zentimeter vom Schwerpunkt entfernt angebracht werden mussten. Aufgrund der beschriebenen Komplikationen wurde der EV3 letztendlich unter MadLabCrab mittig positioniert für einen Trockentest, bei dem sich nicht die Krabbe selbst, sondern die Wände zu bzw. weg von den Sensoren bewegen.

V. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Das Projekt hat wertvolle Lernerfahrungen im Umgang mit MATLAB und der Robotik gebracht. Alle Teilnehmer wurden gefordert, kreativ und zielbewusst unter Zeitdruck zu entwickeln.

Mögliche Verbesserungen ergaben sich aus den bisherigen Tests, unter anderem durch stabilere Materialien für die Tragstruktur und die Optimierung der Kraftübertragung. Durch gezielte Anpassungen könnten zukünftige Versionen robuster und leistungsfähiger werden. Zusätzlich besteht das Potenzial, diese Art von Mechanismen für größere Maschinen zu skalieren und für diverse Anwendungsbereiche, z. B. die Menschenrettung in schwierigem Terrain, zu nutzen.

ANHANG

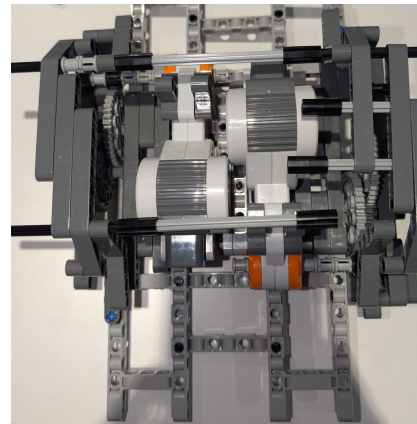


Abbildung 10. Motor-Aufbau ohne Stabilisierungsrahmen

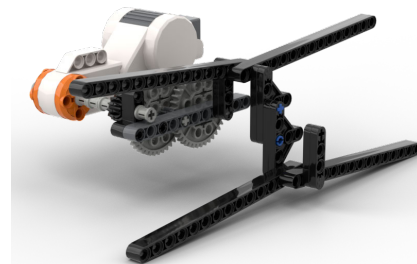


Abbildung 11. Motor, Kurbelwelle und Zahnräder Version 2

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] LEGO: *NXT Ultraschallsensor*. Amazon. <https://amzn.eu/d/is9tdVN>. Version: 2006. – Abgerufen von Amazon: https://m.media-amazon.com/images/I/71SM4iqillS._AC_SX679_.jpg
- [2] MULLER, Derek: *34 Years Of Strandbeest Evolution*. <https://www.diywalkers.com/klanns-spider-ev3-long-legs.html>. Version: 07.12.2024. – YouTube Video
- [3] *Klann's Mechanical Spider with Longer Legs (Ver 3)*. <https://www.diywalkers.com/klanns-spider-ev3-long-legs.html>. Version: n.d.. – Online Projekt
- [4] *Klann's Linkage Dimensions*. <https://www.diywalkers.com/klanns-linkage-plans.html>. Version: n.d.. – Online Projekt
- [5] TEXAS WIKI, University of: *05 - Spider Walking Mechanism*. <https://cloud.wikis.utexas.edu/wiki/spaces/RMD/pages/51059372/05+-+Spider+Walking+Mechanism>. Version: n.d.. – Online Resource